

2025 年度日本天文学会研究奨励賞

氏 名：鄭 昇明 (ちよん すんみよん)

現 職：Max Planck Institute for Astrophysics 研究員

受賞対象題目：宇宙初期における低金属度星の初期質量関数の進化に関する理論的研究

Theoretical Studies on the Evolution of the Initial Mass Function of
Low-metallicity Stars in the Early Universe

ジェイムズ・ウェッブ宇宙望遠鏡 (JWST) を始めとする近年の大型望遠鏡の登場により、宇宙初期の星形成銀河や超巨大ブラックホールの観測が可能となった。観測された銀河やブラックホールの質量や明るさ、数密度は従来の理論的予想とは大きく異なる結果が報告されている。これら宇宙初期の天体形成を解明する上で鍵となるのが、低金属度環境における星形成である。特に、星の初期質量関数 (IMF) は、超新星爆発による重元素汚染、周辺ガスの加熱などの放射フィードバック、さらには超巨大ブラックホールの種形成にも関係した極めて重要な量である。鄭氏は、暗黒物質の大規模構造形成が進む宇宙論的スケールから、星形成が起こる極小スケールまでを接続するマルチスケールの数値シミュレーションを駆使し、宇宙初期の星形成過程の解明に取り組んできた。これにより、宇宙初期の星の IMF、及び超巨大ブラックホールの形成メカニズムに関して貴重な知見を得ることに成功した。

従来、宇宙で最初に形成される初代星は、典型的に太陽の数十倍以上の大質量星であることが示されてきたが、太陽近傍のように重元素が多い環境ではサルピータ質量関数に従って低質量星が主に形成されることが知られている。したがって、宇宙の進化のどこかで IMF が変遷したと考えられているが、その具体的な過程は不明であり、銀河形成や進化の多くのモデルでは、ある臨界的な重元素量を境に IMF が急変するという仮定がこれまで用いられていた。このような中、鄭氏は、非平衡な化学反応や宇宙背景放射などの現実的なモデル化で重要となる過程や要素を取り入れ、重元素量の違いによる IMF の変化を、初代星から近傍宇宙程度の重元素量まで広い範囲において世界で初めて系統的に明らかにした。その結果、低金属度環境下の IMF が、初代星的な大質量の IMF とサルピータ的な低質量の IMF の二つが共存する二峰性 (bi-modality) を示す形態をとり、金属量が増加するにつれて低質量星の割合が支配的になることを明らかにした (Chon, Omukai, & Schneider 2021, MNRAS, 508, 4175; Chon, Ono, Omukai, & Schneider 2022, MNRAS, 514, 4639; Chon, Hosokawa, Omukai, & Schneider 2024, MNRAS, 530, 2453)。これにより、重元素量が太陽の 1% 以下の環境や赤方偏移 5 以上の初期宇宙においては、初代星同様に大質量星が多く形成される「top-heavy」な IMF が実現することが示された。この結果は、従来の予想以上に多様な環境で大質量星が形成される可能性を示唆しており、星形成だけでなく初期宇宙での銀河形成に対しても大きなインパクトを持つものである。さらに、2023年以降に公開された JWST の観測によって、赤方偏移 10 を超える宇宙で従来の星形成モデルを超える多数の明るい銀河が確認されており、鄭氏の研究結果はこの観測を説明する有力な説として注目されている。これに関する上記3つの論文は、被引用数が2025年12月時点でそれぞれ113、66、42に達し、世界的にも広く注目されている。

また、鄭氏は特殊な環境下における超大質量星形成においても先駆的な研究成果を挙げている。超大質量星は、直接崩壊によって10から100万太陽質量のブラックホールが形成されると考えられており、超巨大ブラックホールの種ブラックホールとしての有力候補の一つである。従来の直接崩壊シナリオでは、重元素量がゼロの始原組成でかつ強い紫外線照射を受けるという、同時に満たすのが難しい条件が必要と考えられていた。そのため、生成される種ブラックホールの数密度は非常に低くなり、宇宙初期で発

見られるような稀な大質量ブラックホールの種は説明できるものの、現在の銀河中心に普遍的に存在する超巨大ブラックホールの起源としては不十分であった。このような状況の中で、鄭氏は、強い紫外線照射を受けつつも、ガスが必ずしも始原組成でなく少量の重元素を含む場合についても数値シミュレーションを行った。その結果、金属量が太陽金属量の1000分の1程度以下であれば、超大質量星が形成される可能性を示した (Chon & Omukai 2020, MNRAS, 494, 2851)。従来、このような環境では重元素の冷却効果でガス雲の温度が急激に低下し、激しい分裂が起こるため超大質量星は形成されないと信じられていた。一様近似に基づく詳細な計算で得られた状態方程式を取り入れ、粒子分割法を用いた超高分解能な鄭氏の流体シミュレーションはこれに反し、一定量以下の金属量環境では星形成領域内部の大局的な降着流パターンが始原ガスの場合と変わらず、分裂が起きても最終的には星形成領域の中心に集約し、超大質量星が形成されることを示した。これは「超競争的降着」モデルと名付けられ、より精緻な放射流体計算でも確認された。この結果、有限の金属量環境でも中間質量の種ブラックホールが形成可能であることが明らかになり、このシナリオにおける種ブラックホールの生成数は飛躍的に増加した。このシナリオは、初期宇宙に限らず全ての超巨大ブラックホールの普遍的な起源となりうる (Chiaki, Chon, Omukai et al. 2023, MNRAS, 521, 2845; Chon & Omukai 2025, MNRAS, 539, 2561) という主張にまで発展している。近年、JWSTの観測により初期宇宙におけるブラックホールの数が以前の予測を大きく上回ることがわかっており、鄭氏の論文の重要性がさらに増している。上記のChon & Omukai (2020) は発表から5年で被引用数が89に達し、巨大ブラックホール形成に関する画期的な新シナリオとしてその意義が広く認識されている。

以上のように鄭氏は宇宙初期の星のIMFに関し画期的な研究成果を発表している。特に、宇宙初期と銀河系にまたがる星・天体形成において今後も活躍が期待される若手研究者である。宇宙論的大規模構造から星形成までを統一的に研究できる世界的にもユニークな若手研究者で、今後も分野を世界的にリードしていくことが大いに期待できる。

以上の理由により、鄭昇明氏に2025年度日本天文学会研究奨励賞を授与する。